

A importância dos Processos Físicos no controlo da Eutrofização em Estuários

Pedro PINA¹, Frank BRAUNSCHWEIG¹, Sofia SARAIVA², Madalena SANTOS², Flávio MARTINS³
Ramiro NEVES⁴

¹ MsC, Instituto Superior Técnico, Sala 361, Nucleo Central, Taguspark, P-2780-920, Oeiras, Portugal

² Eng., Instituto Superior Técnico, Sala 361, Nucleo Central, Taguspark, P-2780-920, Oeiras, Portugal

³ Prof. Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve

⁴ Prof. Instituto Superior Técnico, Sala 361, Nucleo Central, Taguspark, P-2780-920, Oeiras, Portugal
maretec@taguspark.pt

1. INTRODUÇÃO

Muitos dos problemas tróficos existentes nos estuários e zonas costeiras têm origem no excesso de nutrientes, em particular Azoto (N) e Fósforo (P), resultante do sucessivo enriquecimento dos rios durante o seu percurso até ao mar e também de descargas directas nestes sistemas. Nixon (1995) definiu eutrofização como o aumento da quantidade de matéria orgânica disponível na massa de água. Esta é uma definição assumida neste estudo, considerando que a eutrofização é o primeiro, de uma sequência de fenómenos resultantes do sobre-enriquecimento de nutrientes, que inclui a alteração de espécies dominantes e o aumento dos níveis de turbidez da água.

Na avaliação dos problemas provocados pelo excesso de nutrientes, em sistemas estuarinos, existem duas grandes áreas de estudo fundamentais, que interactivam permanentemente e das quais resultam todos os processos que ocorrem no sistema: processos hidrodinâmicos e processos ecológicos.

De uma forma geral, o escoamento hidrodinâmico, responsável pelo transporte de massa no estuário, é função das condições de fronteira oceânica, dos caudais afluentes ao estuário e da geometria, e batimetria, do estuário. A circulação no seu interior depende igualmente do efeito da maré e, desta forma, o escoamento da água num estuário possui uma variabilidade diária, semanal e também sazonal. Os processos hidrodinâmicos determinam a disponibilidade de nutrientes através do transporte; a disponibilidade de luz, devido aos processos de deposição e ressuspensão de sedimentos e acima de tudo, os processos hidrodinâmicos determinam quanto tempo uma massa de água permanece em determinada zona ou, por outras palavras, o tempo de residência da água.

Os processos ecológicos, tais como a produção primária de biomassa, ocorrem apenas se forem estabelecidas as condições adequadas, nomeadamente em termos de luz, nutrientes e temperatura (factores limitantes considerados neste estudo) e se os organismos permanecerem tempo suficiente no interior do estuário para que a sua actividade possa desenvolver-se.

Os princípios físicos que sustentam estas observações (a conservação de massa e momento no interior do sistema) são aplicáveis em todos os estuários. As extraordinárias diferenças observadas em diferentes sistemas provêm do

estabelecimento das condições de fronteira (naturalmente distintas entre diferentes estuários), da geometria e batimetria do sistema. Este artigo apresenta a aplicação do sistema MOHID a dois sistemas estuarinos diferentes, partindo, desta forma, de uma base de princípios físicos e biológicos comum.

2. METODOLOGIA

É descrito o estudo numérico dos processos tróficos que ocorrem nos estuários do Tejo e Douro (Portugal), com o objectivo de compreender os diferentes processos que ocorrem nestes dois sistemas, desenvolvendo ferramentas de modelação capazes de prever a evolução destes sistemas quando sujeitos a diferentes condições de fronteira, melhorando a eficiência na gestão dos recursos.

2.1 Tempo de Residência

O tempo de residência é um importante indicador do funcionamento do estuário. É possível afirmar que estuários com um tempo de residência baixo exportarão mais rapidamente os nutrientes, vindos de descargas a montante, do que estuários com um tempo de residência longo. Este é um factor particularmente importante para a ocorrência de blooms de algas no interior do estuário, sendo, desta forma, esperado que em estuários com um tempo de residência baixo, os blooms de algas sejam inferiores. Em geral, estuários com tempos de residência menores que o tempo de duplicação dos organismos inibem a formação de blooms de algas (EPA, 2001). Em cada estuário, o tempo de residência foi determinado seguindo os seguintes passos:

- Cálculo das propriedades hidrodinâmicas, considerando o efeito da maré e o caudal médio dos rios afluentes;
- Divisão do estuário em diferentes caixas, preenchidas com



Figura 1: Localização Geográfica das áreas em estudo

traçadores lagrangeanos, tendo como propriedades associadas o volume, a posição (coordenadas espaciais) e a referência à sua caixa de origem. No instante inicial o volume de traçadores presente em cada caixa corresponde ao volume da caixa, garantindo que o volume total de traçadores no início da simulação é o volume total do estuário.

- O tempo de residência é determinado a partir da evolução da razão entre o volume de instantâneo de traçadores, que se encontram no interior do estuário, e o volume inicial, ao longo do tempo.

2. 2 Modelo de produção primária

O módulo de qualidade da água é baseado numa estrutura simples de dois níveis. O modelo simula o ciclo dos nutrientes, mineralização da matéria orgânica, produção primária e secundária. O oxigénio dissolvido e BOD são calculados de forma explícita a partir de outras variáveis. Os produtores primários consomem nitrato, amónia e fosfato. As excreções dos produtores primários e secundários incluem amónia, PON e DON não refractário. A decomposição do PON produz DON refractário e amónia. O DON não refractário é mineralizado em amónia; o DON refractário pode levar vários anos a ser mineralizado. Os resultados do modelo de produção primária foram comparados com dados locais e através de ferramentas de integração espacial e temporal disponíveis no sistema MOHID, foi estabelecido um balanço de massa de grande escala permitindo analisar o destino dos nutrientes e da matéria orgânica nos estuários

3. RESULTADOS

3.1O Estuário do Tejo

O estuário do Tejo é o maior estuário português e um dos maiores da Europa, localizado perto de Lisboa (38°44'N, 9°08'W) e cobrindo uma área de cerca de 300 km² na baía-mar e 340 km² na praia-mar. O estuário é composto por um canal estreito e profundo junto à saída e por uma baía interior de pequena profundidade. O canal de saída, que permite a entrada de água oceânica, tem cerca de 15 km de comprimento e 2 de largura. A montante, um canal único e estreito marca a entrada do rio Tejo (Vale e Sundby, 1987). A morfologia do estuário do Tejo enquadrava melhor na definição de lagoas costeiras segundo Dronkers and Zimmerman (1982).

O tempo de residência médio da água dentro do estuário é cerca de 25 dias, o que significa que se as condições ideais forem estabelecidas (luz, nutrientes e temperatura) os processos biológicos deverão ter um papel fundamental a desempenhar no sistema. De facto o modelo de produção primária demonstra isso, tendo sido estabelecida uma situação de referência para o ano de 1998.

A principal conclusão do estudo dos processos ecológicos no Tejo, é que a disponibilidade de luz é o factor limitante mais importante para a produção primária, uma vez que a sua diminuição inibe os produtores primários de usarem todos os nutrientes disponíveis, que acabam por ser exportados para o mar. Considera-se assim que a temperatura e os nutrientes nunca são factores limitantes. O sistema é produtivo, **produz e exporta biomassa (fito e zooplâncton), consumindo parte dos nutrientes que entram no estuário. A concentração de oxigénio dissolvido na coluna de água está sempre bastante acima dos valores mínimos exigíveis para actividade biológica, embora junto ao fundo possam ocorrer situações esporádicas de anoxia. As plumas das descargas pontuais**

dispersão rapidamente no estuário sendo identificáveis apenas a plumas dos principais rios (Tejo, Trancão e Sorraia). A maior parte da matéria particulada fica retida dentro do estuário através de processo de deposição sendo depois mineralizada.

3.2 O estuário do Douro

O estuário do Douro, desenvolve-se num vale longo (22km) e estreito com uma largura mínima de 135 m na ponte D. Luís (cerca de 6 km a montante da foz) e um máximo de cerca de 1300 km junto à Ponte da Arrábida. Junto à foz o banco de areia do Cabedelo, perpendicular ao eixo do estuário, é controlado pelo rio e pela maré. Em situações de grandes volumes de água - 10000 m³/s - o banco é destruído pelo escoamento (Silva, 1995) sendo depois gradualmente construído com caudais mais baixos.

O tempo de residência médio da água dentro do estuário é cerca de um dia, o que significa que os processos biológicos não têm de se desenvolver em grande amplitude, e que grande parte dos nutrientes e matéria orgânica que entram no estuário são escoados para o mar. A principal conclusão demonstrada pelo modelo aplicado ao estuário do Douro é que o tempo de residência pode ser identificado como o principal factor limitante do desenvolvimento da produção primária dentro do estuário. O estuário apesar disso pode ser considerado produtivo, embora pouco, já existe um aumento efectivo de biomassa, traduzido pela diferença entre o fitoplâncton que entra no estuário e o que sai.

4. Conclusões

As conclusões aqui apresentadas são suportadas por estudo numérico extenso da dinâmica dos principais estuários portugueses, das suas principais características hidrodinâmicas e a sua influência na ecologia de cada sistema. É demonstrado que os dois estuários apresentados possuem tempos de residência distintos consequência da razão entre a descarga do rio e do volume médio do estuário e ainda da sua forma. Os resultados do modelo no estuário do Tejo mostram que a limitação da luz pela matéria em suspensão é o factor que limita o crescimento do fitoplâncton. Como consequência apenas uma parte dos nutrientes são consumidos dentro do estuário. A elevada turbidez do estuário é consequência do elevado escoamento de maré, da carga fluvial e da grande extensão de áreas intertidais (cerca de 1/3) e ainda da grande susceptibilidade para a geração de ondas que intensificam a ressuspensão.

No caso do Douro os resultados do modelo demonstram que o crescimento do fitoplâncton é limitado pelo tempo de residência. O fitoplâncton produzido no estuário é exportado antes de poder desenvolver um "bloom".

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo INAG – Instituto da Água

REFERÊNCIAS

- Dronkers, J and J.T.F. Zimmerman, 1982. Some principals of mixing in tidal lagoons. *Oceanologica Acta*, 5: 107-117.
- EPA (2001), Nutrient Criteria Technical Guidance Manual.
- Nixon, SW, SL Granger, BL Nowicki . 1995. An assessment of the annual mass balance of carbon, nitrogen, and

phosphorus in Narragansett Bay. *Biogeochemistry*
31:15-61.

Vale, C., Sundby, B., (1987). Suspended sediment
fluctuations in the Tejo estuary on semidiurnal and
fortnightly time scales, *Estuarine, Coastal and Shelf
Science*, 27: 495-508.